

٢٦

من الذرة إلى الفضاء

- كاشفات الجزيئات الدقيقة
- المدفعية الذرية
- المجهر الإلكتروني عين
- قادرة على رؤيته الفيروسات والجزيئات

Les Grandes Inventions
F. Lot
Librairie Hachette

مكتوبات مكتبة سيمير
شارع غورو - بيروت
تلفون ٢٣٨١٨١-٢٢٦-٨٥

كاشفات الجزئيات الدقيقة

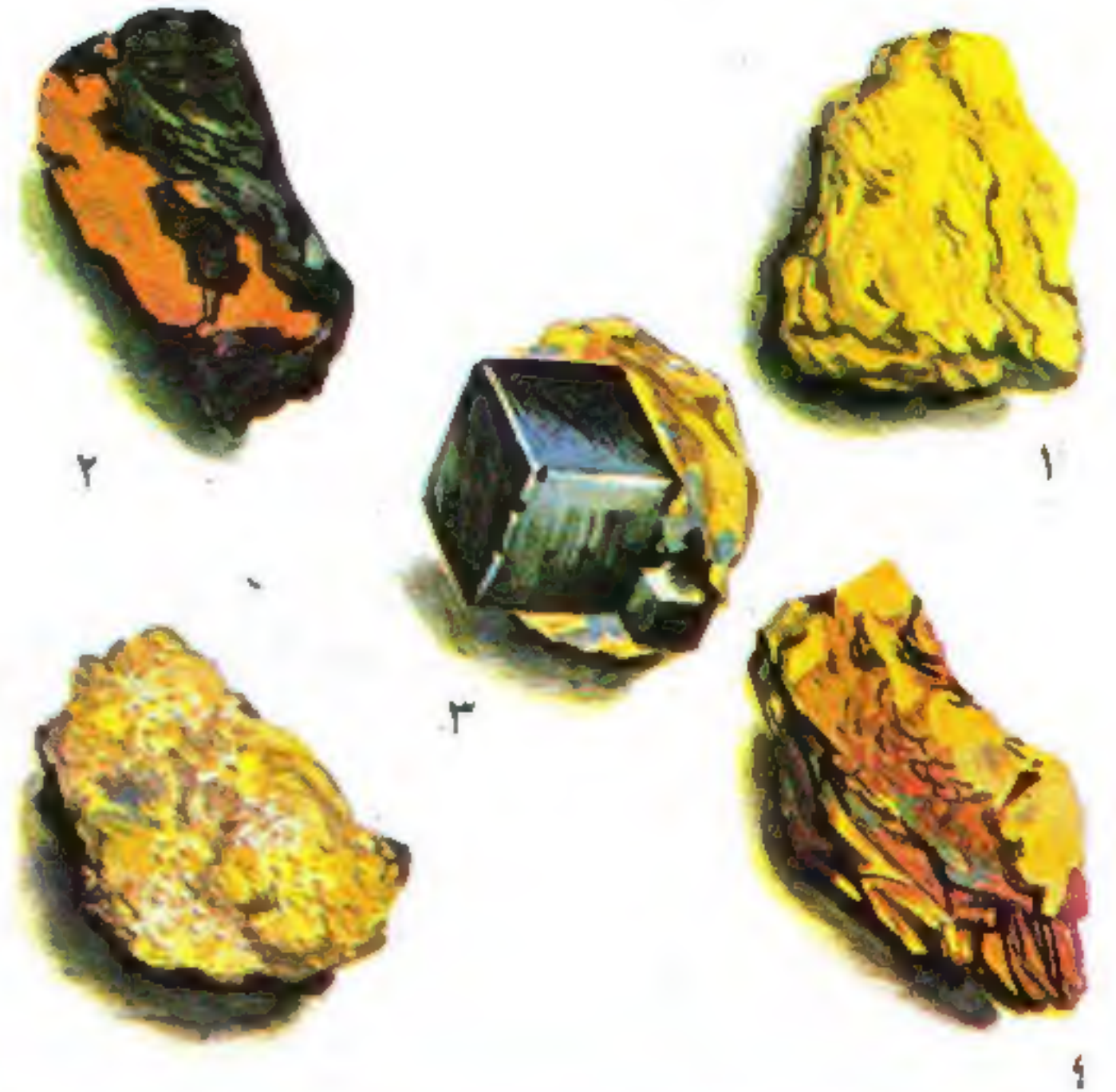
عندما افتُتح قصرُ الاكتشاف ، بمناسبة إقامة المعرض الدولي عام ١٩٣٧ ، أثارت دهشة الزوّار عجايبٌ وغرائبٌ كثيرة . كانوا إذا دخلوا في ما يُشبهُ المعزل^١ ، يسمعون في لحظةٍ من اللحظات ضربةً صمّاءً مثيرَةً مخيفة . كانت تلك الإشارةُ المرتقبة^٢ ، المنطلقة على حين غرة ، تُعلن عن مرور شعاعٍ كونيٍّ ما ، أتى رسولاً غريباً ، من أعماق الكون . . . كان الجهازُ المستعملُ « عدادَ جيجِر » ، الذي يحملُ اسمَ مخترعه ، الفيزيائيِّ الألمانيِّ « هانز جيجِر » (١٨٨٢ - ١٩٤٥) ، الذي طوّره^٣ مع مساعدِهِ « مُولر » .



يتألّف هذا الجهازُ من أسطوانة معدنيّة مملّأى بغاز مُخلخلٍ مُندَر ، يمتدُّ في

تحرّي معادن الأورانيوم بواسطة عداد « جيجر » .

يُقدِّم عدّاد « جيجر - مولر » خدماتٍ
جليلةً ، في مجالِ البحثِ عنِ مناجمِ
الأورانيوم ، التي تكثرُ حولها الطلقاتُ ،
وفي مراقبةِ الفاعليّةِ الإشعاعيّةِ في المختبراتِ ،
التي يُمكن أن تتعرّضَ للإشعاعاتِ الخطيرة .
ولقد ظلَّ هذا العدّادُ ، سنواتٍ متعدّدة ،
الجهازَ الأهمَّ في الفيزياءِ النوويّةِ ، والفيزياءِ
الكونيّةِ .

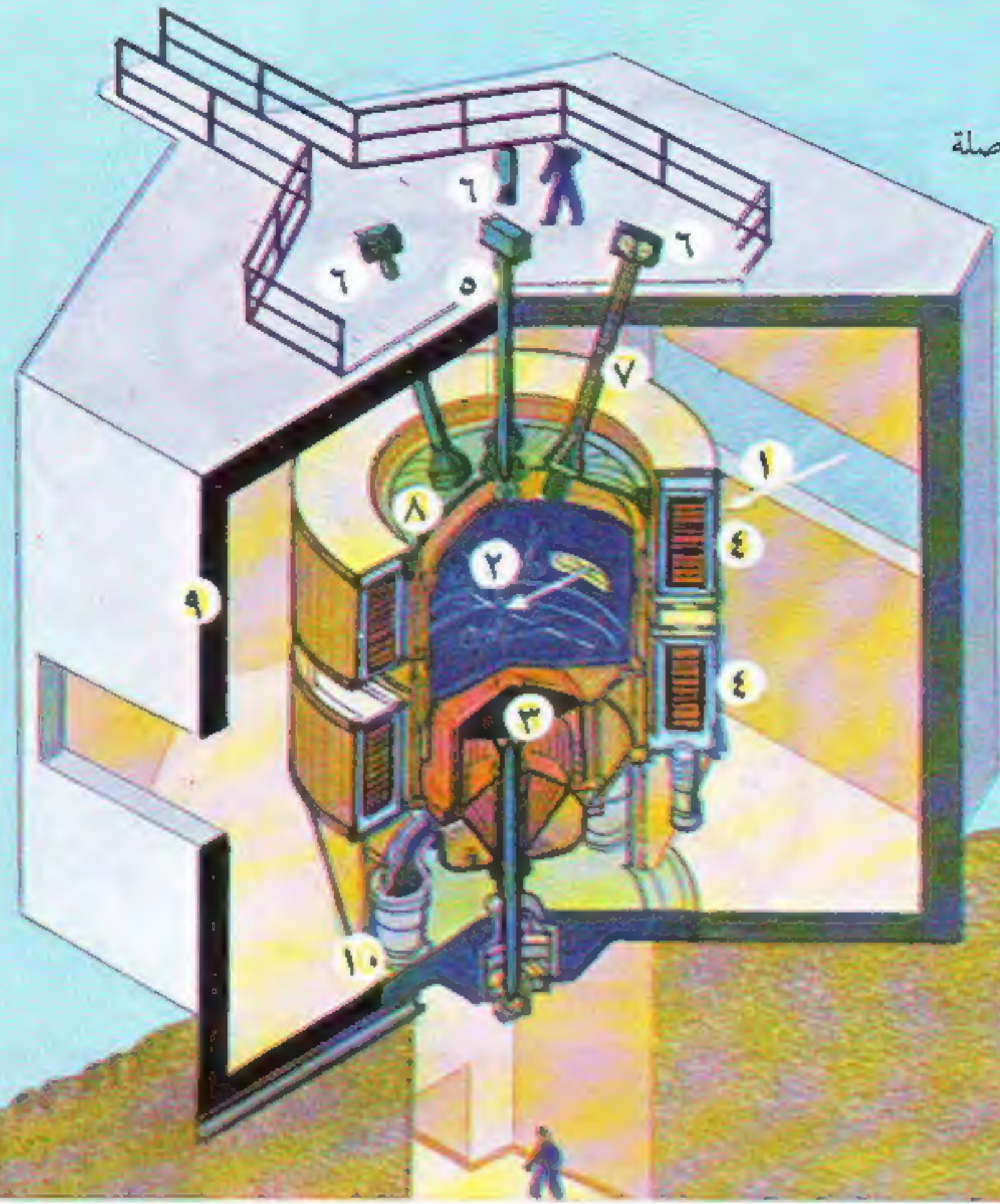


بعض هذه المعادن الخام - ١ . الكرونيت -
٢ . بيكلند - ٣ . الأورانيت - ٤ . الأوتونيت -
٥ . الأورانوفان .

إلا أن الفيزيائيين ، لما أرادوا التعمّق
في أبحاثهم ، احتاجوا إلى أجهزةٍ كشفٍ
وتحرّجٍ أرفعٍ حسّاً ، وأبلغَ سرعةً ، بحيث
تقدّر أن تُسجّلَ آثارَ الجزيئات ، وتؤثّر
على مساراتها ، فيغدو بالإمكانِ قياسُ
سرعتها ونشاطها ، ووزنها ، كما يُمكن
معرفةُ ما إذا كانت ذات شحنةٍ إيجابيّةٍ
أو سلبيةٍ . وهكذا دفعَهم الحاجةُ إلى
ابتداعِ نماذجٍ مختلفةٍ من المتحرّجاتِ ،
أشهرها غرفةُ الفقاقيعِ ، التي وُضِعَ تصميمُها
الأميركيُّ « غليزر » ، فغدَت جهازاً في
غاية الضخامةِ والتعقيدِ . ولقد بُنيَ على
هذا الطرازِ عملاقان فرنسيّان : « غرغميل »
العاملُ في جنيف ، و « ميرابيل » العاملُ
في « سربوخوف » .

محورها سلكٌ معدنيٌّ . يُجَعَلُ بين الأُنبوبِ
والسلكِ فرقٌ كُمون (différence de potentiel)
يبلغُ من الارتفاعِ حدّاً ، يُصبحُ معه
« أيُّ شيءٍ » قادراً على تفجيرِ الشرارةِ ،
على أن يكونَ هذا « الشيءُ » أيّةَ جُزيئةٍ
مشحونةٍ . فبمقدارِ ما تنطلقُ شراراتُ ،
بمقدارِ ما تُحصى جُزيئاتُ ، حتّى لتُكشفَ
ألوفُ الجُزيئاتِ في الثانيةِ ، فيكبرُ صوتُها ،
ويُحصى عددها بواسطةِ جهازٍ خاصٍّ .

- ١ مدخل حزمة الجزيئات
- ٢ غرفة الهيدروجين السائل .
- ٣ مكبس الإطلاق .
- ٤ ملفات إيصال خارقة
- ٥ منظار للمراقبة المباشرة .
- ٦ آلة تصوير الجزيئات ،
- ٧ جهاز لنقل الأفلام
- ٨ نافذة كروية الشكل
- ٩ درع مغنطيسي تحيط بالغرفة .
- ١٠ مضخة تفريغ



حزمة جزيئات واصله
من السنكروترون

رسم بياني لغرفة الفقاقيع العاملة في المركز الأوروبي للبحوث النووية ، في جنيف . تعطي الصورة فكرة عن تعقيد الجهاز ، وعن ضخامة قياساته ، بالنسبة الى حجم الأشخاص .

يُبقَى السائب^٧ الذي تحتويه الكاشفة (البروبان او الفريون في الأولى ، والهيدروجين السائل في الثانية) تحت ضغط أقل قليلاً من ضغط الغليان الطبيعي ، ولذا يأخذ السائب في الغليان بكتلته كلها ، حالما تُثار طلقة . فاذا دخلت الجهاز جزيئة ، قبيل بدء الغليان ، أحاطت بالجزيئة فقاقيع بُخار في غاية الصغر ، تُجسّم خطاً مسارها فيصوّر . ومهما يكن مسار الجزيئات المشحونة متوراً^٨ فهو يظلّ منحنيّاً بتأثير حقل مغنطيسيّ جبّار . وهكذا تتوصّل الكاشفة حتى الى تحرّي جزيئات لا تستغرق حياتها أكثر من ١ / ١٠٠٠٠٠٠٠٠ من الثانية . . . هذا وتلتقط في أثناء الاختبار الواحد ملايين الصور .



عداد « جيجر » مزود بسماعة .

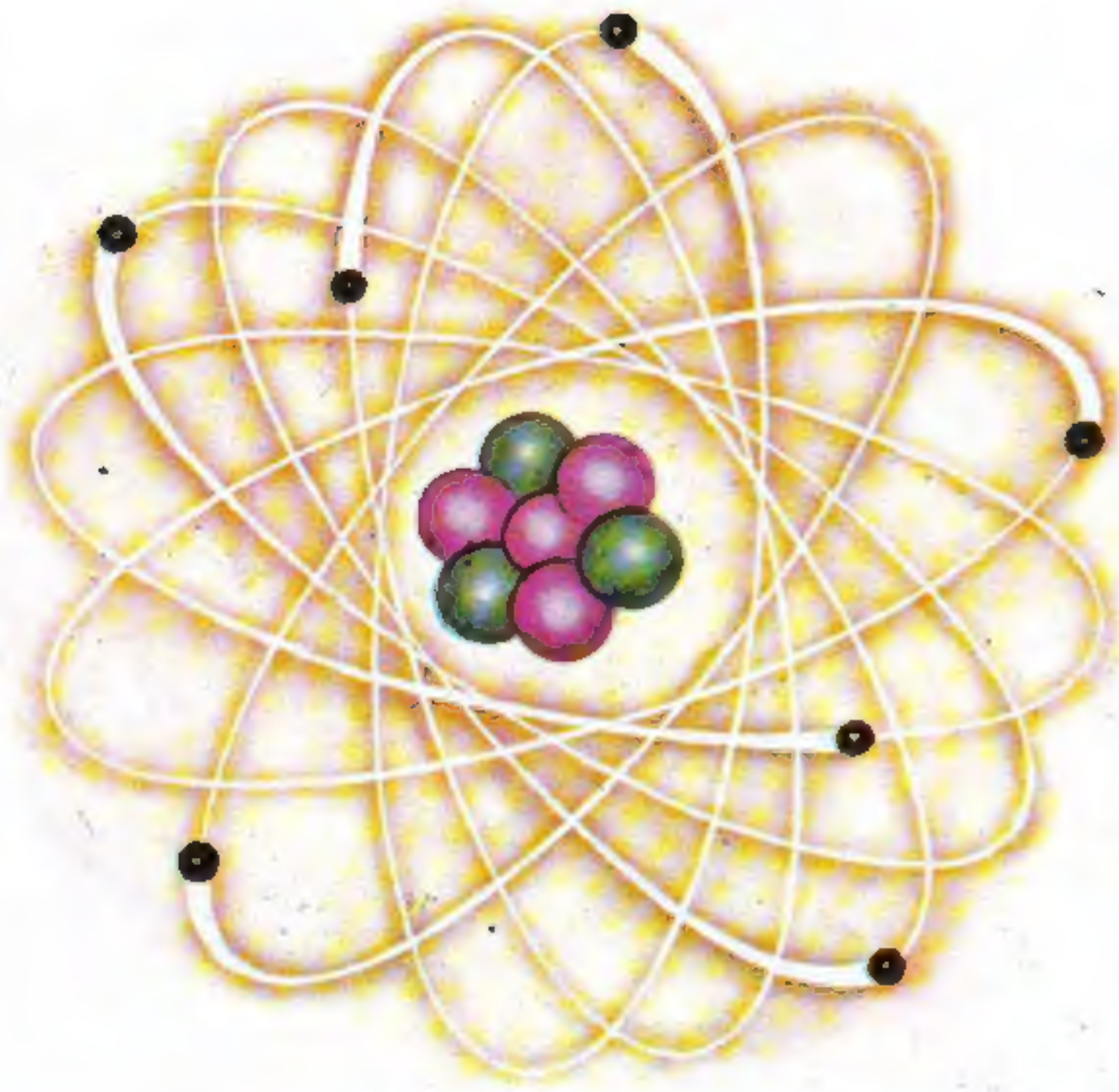
الأسئلة

- ١- ما هي وظيفة جهاز « جيجر »؟
- ٢- ما الذي يفجر الجزيئة في كاشفة الجزيئات؟
- ٣- ماذا تتضمن اسطوانة عداد جيجر؟
- ٤- ما فائدة عداد جيجر في البحث عن الأورانيوم؟
- ٥- ما فائدة هذا العداد في مراقبة الفاعلية الإشعاعية .
- ٦- ما هو دور غرفة الفقايع؟
- ٧- كيف تتحرى الجزيئة .
- ٨- ألدك فكرة عن سرعة العمل ، في هذا الجهاز؟

التفسير

- ١- المعزل : المكان يُعزل فيه شخص أو شيء .
- ٢- المرتقبة : المنتظرة : إرتقب الشيء : إنتظره .
- ٣- طور الآلة : حسنها .
- ٤- غاز مُخلخل : قليل ، مُندر .
- ٥- الفاعلية الإشعاعية : التأثير الإشعاعي .
- ٦- مسار الجزيئة : الخط الذي تسير عليه .
- ٧- السائب : الجسم الغازي أو السائل .
- ٨- موثور : مشدود . وتر القوس : شدّها .

المدفعية الذرية



كيف يمكن أن نتصور ذرة : في الوسط النواة ، وهي مركبة من بروتونات مشحونة إيجابياً ، ومن « نوترونات » حيادية غير مشحونة بشيء ؛ وحول النواة المدارات التي تسير عليها الإلكترونات وهي حبات الكهرباء السلبية .

ترتبطُ الجُزَيْئاتُ التي تشكُلُ نواة الذرة - أي البروتونات والنوترونات - بعضها ببعض ، بقوى نووية خارقة . ولذا فإن فصلها ، لمعرفة خصائصها واكتشاف أعمق أسرار المادة ، بالدخول الى أجزائها الحميمة ، لا يتم إلا بوسيلة واحدة ، ألا وهي قصفها^١ بجُزَيْئات أخرى : كالبروتونات ، والألكترونات ، والدوتونات ، والهيلونات . هكذا وُلِدَت المدفعية الذرية الغربية ، التي تستخدمُ ، في مجال المتناهي

الصغير ، وسائل هائلة ، معداًتها هي المسرعات الضخمة . والواقع أن هذه الآلات تزود الجُزَيْئات بسرعة تقارب سرعة النور ، فتتجه هذه الجُزَيْئات نحو الهدف الذي اختير لها ، والذي تُرابط^٢ أمامه أجهزة التحري^٣ التي تسمح بتصوير « الأحداث » النووية الخاطفة ، السريعة الهروب .

يبدلُ الفيزيائيون جهداً مُطَرِّداً لمضاعفة قدرة المسرعات ، وذلك طمعاً في إحداث

أما المُسرَّعات الخطَّية^٥ التي تعمل فيها
الـإلـكـتـروـنـات ، فَتَسْتَعْمِلُ تَوَثُّراتٍ أَقلَّ ارْتِفَاعاً ؛
إِلَّا أَنَّ سُرْعَةَ الْجُزَيْئاتِ تُضَاعَفُ فِيهَا
عِدَّةَ مَرَّاتٍ ، فِي أَثناءِ انْطِلَاقِها المُستَقِيمِ .

هناك أخيراً المُسرَّعات المستديرة ، التي
ابتدعَ أُولَها ، عام ١٩٣٤ ، عالمٌ أميركيٌّ
آخر ، هو « إرنست لورانس » . فَالْجُزَيْئاتُ
هنا يُسَرَّعُها حَقْلٌ كَهْرَبائيٌّ ، فيما يَقودُها
حَقْلٌ مغنطيسيٌّ ، على مَسارٍ لَوَلِيٍّ^٧ الشَّكْلِ .
غَيرَ أَنَّ إمكانياتِ هذا الجِهازِ محدودةٌ ،
لا تَتجاوِزُ ٢٠ مليونَ إلكترون - فِلْطٍ ؛
على اعتِبارِ أَنَّ الْجُزَيْئاتَ ، متى بَلَغَتْ
مِثْلَ هذه السَّرعَةِ ، وَقَعَتْ ضَمْنَ نِطاقِ
القوانينِ النَسيبَةِ ، وَنَمَتْ كُتْلُها بِشَكلٍ مَلحوظٍ .
والحالُ أَنَّ القَذائِفَ ، عَندَما لا تَعوُدُ في
طَوَرٍ واحدٍ مَعَ تَوَثُّرِ الجِهازِ المُتَنابِـبِ ،
تَفقُـدُ أَهْلِيَّتَها لِلتَّسْريعِ .

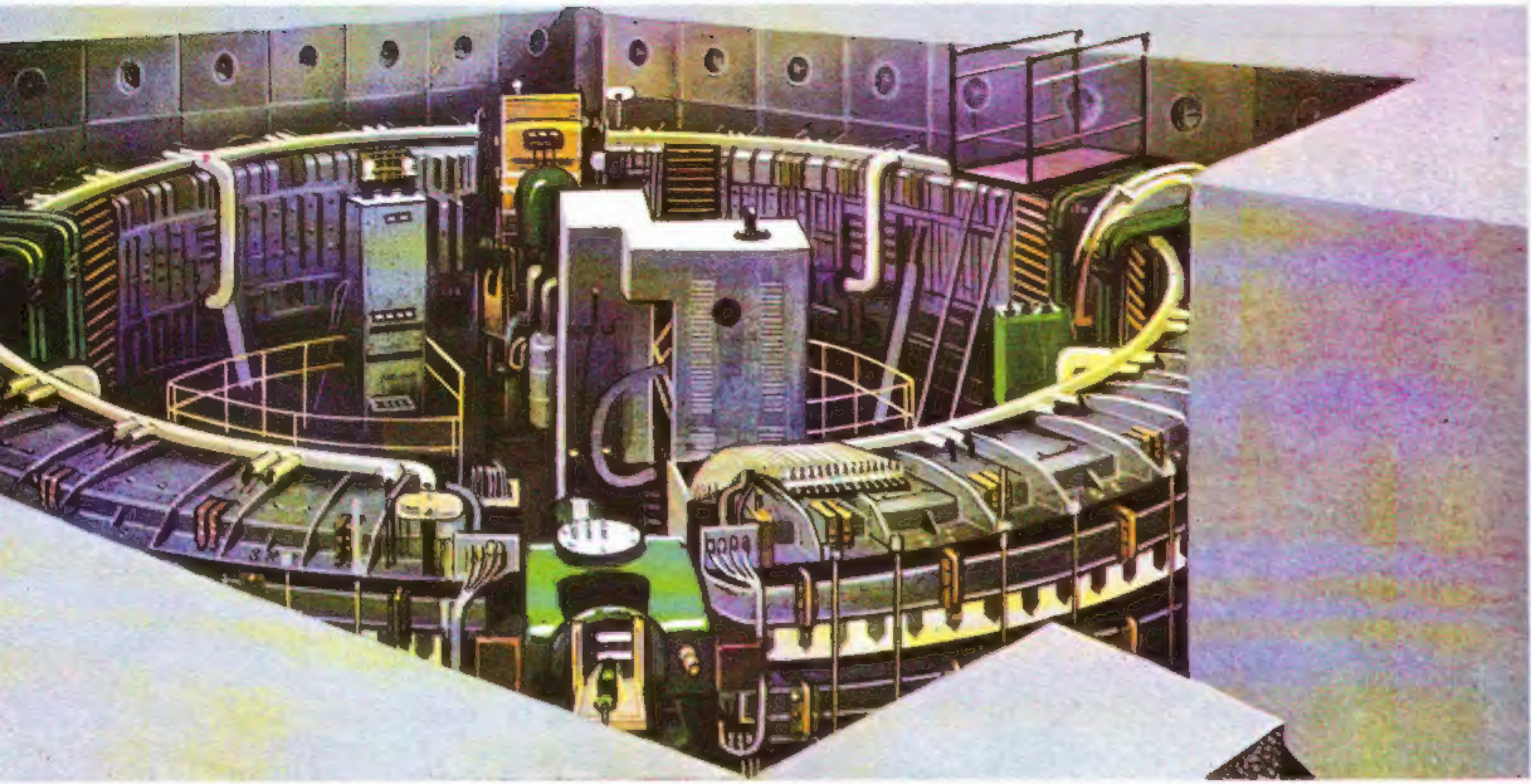
لِمَعالِجَةِ انْقِطاعِ هذا التَّزامُنِ^٨ ، اِبْتَدِعتِ
المُسرَّعةُ سِنْكْرُوسِيكْلُوترون (synchrocyclotron)
التي تَبْلُغُ طاقَها مِئاتِ المِلايينِ مِنَ الـإلـكـتـروـنـاتِ
الْفِلْطِيَّةِ ؛ ثُمَّ المُسرَّعةُ « سِنْكْرُوترون »
(synchrotron) حَيْثُ الْجُزَيْئاتُ - وَهي
عَادةً بُرُوتوناتُ - تَتَبِعُ مَساراً مُستديراً كُلَّ



مُصَوِّرُ بَيانيٍّ لِلْسِيكْلُوترون ، وَهو أَوَّلُ مُسرَّعةٍ مُستديرةٍ .

صَدَماتٍ أَعنفٍ ، وَرَدَّاتٍ فَعليٍّ جَديدةٍ
بَينَ الْجُزَيْئاتِ . وَهَكَذا ، فَقَدْ بَنَوا مُسرَّعاتٍ
مِنَ نِماذِجٍ مُختَلِفةٍ .

فالمُسرَّعةُ الـإلـكـتـروـسـتاتيَّةُ التي تَحْمِلُ
اسمَ مُخترِعيها ، الـاميركيِّ « فاندري غراف » ،
تُطَلِّقُ طَلَّقاتٍ خاطِيفةً ، تَحْتَ فارقِ كُموَنيٍّ^٩
يَبْلُغُ مِلايينَ الفِلْطاتِ .



مسرّعة سنكروترون تسمح ببلوغ طاقات مرتفعة جداً ، وتسمح بالتالي ، بإثارة عدد كبير من الأحداث النووية ، وفي جملتها ابتداء الجزيئات ابتداءً مصطنعاً .

الاستدارة ، يسمح بتحقيق طاقاتٍ أرفع كثيراً ، تبلغُ عدّة مليارات من الألكترونات الفلطية ؛ مما جعل توليد الجزيئات التي تظهر في الأشعة الكونية كلها تقريباً ، أمراً ممكناً .

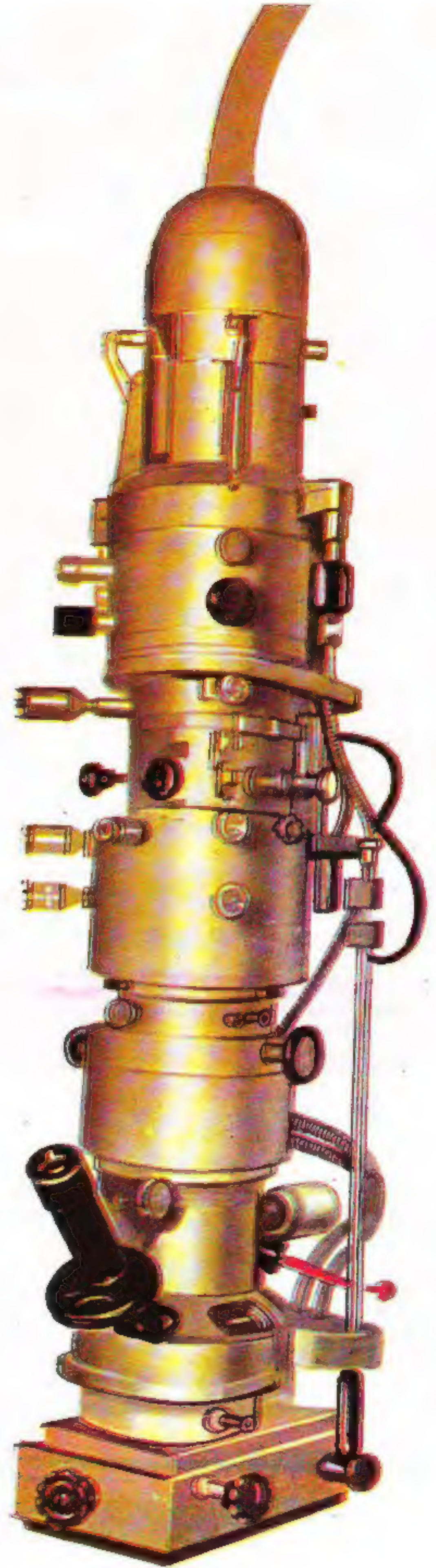
قوّته مليارَي إلكترون - فلت . أمّا المركز الاوربي للبحوث النووية في جنيف ، فيمستوى ٢٨ ملياراً . وفي « بروخافن » ، من الولايات المتحدة ، مسرّعة « سنكروترونية » بقوة ٣٣ ملياراً ؛ أمّا الروس فقد بلغوا مرتبة ٧٦ ملياراً ، بفضل مسرّعة « سيربوخوف » التي يبلغ قطرها ٤٦٠ متراً .

هذا ، ويشمل مركز « سكلي » مسرّعة « ساتورن » ، وهو « سنكروترون » تبلغُ

- ١- الجزئيات : جمعُ جُزَيْثَةٍ : جزءٌ صغير.
- ٢- القَصْفُ : الضَرْبُ الخاص بالمدفعية .
- ٣- رَابِطٌ يُرَابِطُ في مكان : لازمه .
- ٤- التحرّي : البحث . مصدر تحرّى الحقيقة : بحث عنها .
- ٥- الخطيئة : ذات الإتجاه المستقيم .
- ٦- مَسَارٌ : من سار : خطّ السير .
- ٧- لَوَلَبِيّ : بشكل لَوَلَب ، حَلَزُونِيّ الشكل .
- ٨- التَزَامُن : الإتفاق في الزمن .
- ١- ما هي الجزئيات التي تشكّل نواة الذرّة ؟
- ٢- ما الذي يدورّ حول النواة ؟
- ٣- كيف يتمّ فصلُ جُزَيْثات النواة ؟
- ٤- أيُّ جهاز يُستعمل في عمليّة الفصل هذه ؟
- ٥- أذكر نماذجَ من المُسرّعات .
- ٦- أيُّ نوع من المُسرّعات هو الأقوى ؟
- ٧- ما هي قوّة مُسرّعة «سَكلي» ؟
- ٨- ما هي طاقة مُسرّعة «سربوخوف» ؟

المجهر الإلكتروني عين قادرة على رؤية الفيروسات والجزيئات

ما كانت أفضلُ المجاهرِ البصريّة
قادرةً على تكبير الأشياء أكثر من ٣٠٠٠
مرة. أمّا اليوم ، فإنّ المجهر الإلكترونيّ
يسمحُ بتكبير الأشياء حتى حدودِ المليون
مرة ؛ وفي مثل هذه الحدود ، تظهر
الكرويّة الحمراء بقطر يبلغ ثمانية أمتار ،
ويظهر الرجل بقامة تبلغ ١٧٠٠ كيلومتر! ...
بفضل هذا المجهر ، تنكشف الخلية الآن ،
عن تعقّدها الهائل ، فاذا هي آهلة بعدد
كبير من الجسيمات التي تمثّل مختبراتٍ
متعدّدة عاملةً بانسجام ؛ وبفضله غدت
الفيروسات^١ عينها مرئيّة بحجم الخلايا
الكبيرة ، بما فيها المروحة المزدوجة المذهلة^٢
التي تحوي ، ضمن نواة الخلية ، برنامج
الوراثة بكامله . . .



المجهر الإلكتروني الذي وضع في الخدمة للمرّة الأولى ، في
فرنسا ، في مؤسّسة بستور في باريس . هنا ، حلّ محلّ النور
المستعمل في المجاهر البصريّة ، دفقة قويّة من الإلكترونات ،
وحلّ محلّ العدسات الزجاجيّة أجهزة كهربيّة.

يعود الفضل ، في فكرة المجهر الإلكتروني ، الى الفيزيائي الفرنسي « لويس كرتان » ، وهي فكرة تركز على نظريات « لويس دي بروغلي » في الميكانيكا الموجية . فبالاستناد الى هذه النظريات ، لا فرق أساسياً بين البصريات الضوئية ، والبصريات الإلكترونية . وإن صحَّ ذلك ، أمكن بناءً مجاهر غاية في الكبر ، تحلُّ فيها محلَّ النور دفقة من الإلكترونات . إذاً فقد حلت محلَّ العناصر البصرية العادية (أي عدسات الزجاج) أجهزة إلكتروستاتيّة أو مغنطيسيّة ، تعمل في مجرى الإلكترونات عمَل عدسات الزجاج في أشعة النور .



فوق : مراحل انقسام الخلية كما رآها المجهر الإلكتروني . فبعد التعديل الذي يطرأ على الجسيمات التي تكوّنُها ، تصابُ الخلية باختناق ينتهي بانفصامها الى خليتين جديدتين . ولا تلبثُ كلُّ خلية أن تعاني العملية التي عانتها الخلية الأم ، فتتفصم وتعطي خليتين جديدتين ، وهكذا دواليك ...

ولما كانت الموجة الإلكترونية أقصر كثيراً من الموجة الضوئية ، كانت « قدرتها على الفصل » أكبر كثيراً ، وبالتالي كان تكبير الصورة أضخم كثيراً . والجدير بالذكر ، أنَّ الصور التي يتمُّ الحصولُ عليها ، في هذه الشروط ، يمكنُ أن تُسجَّلَ على لوحة فوتوغرافية ، كما يمكنُ أن تُرى مباشرةً على شاشة مفلورة ، شبيهة بالتي تضيئها الأشعة السينية ، في الفحص بالأشعة .

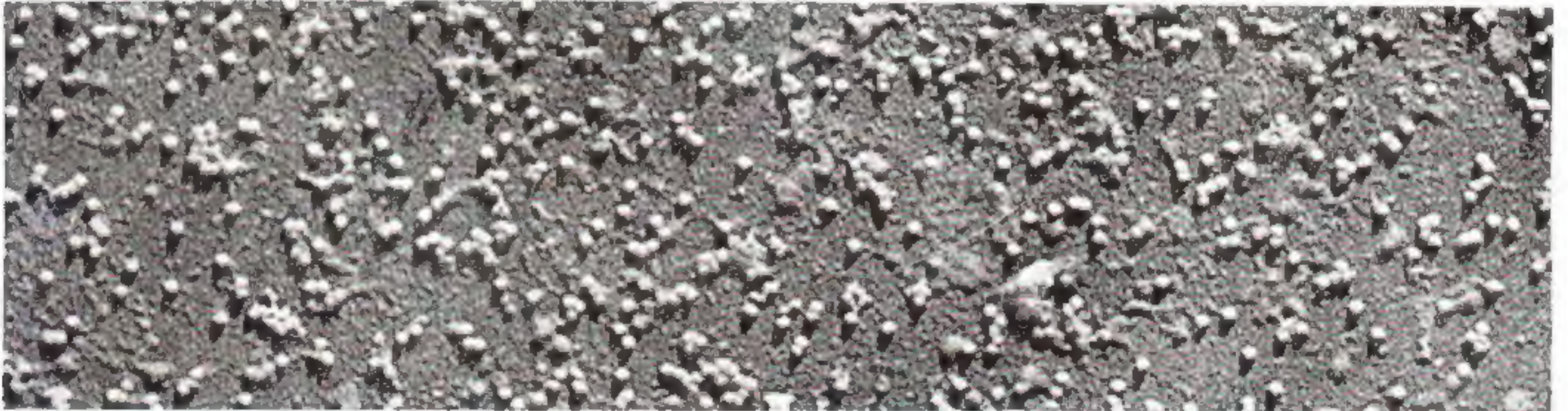
لقد غدت مدينة « تولوز » ، بمختبرها المُختصّ ، الذي يُديره الاستاذ « غستون دُوبوي » ، تحت رعاية المركز الوطني للبحوث العلميّة ، عاصمة البصريات الإلكترونية في العالم . ففي هذه المدينة ، يعملُ جهازان عملاقان : يعمل الأول

تحت تؤثر يبلغ مليون فلت ، ويعمل الثاني ، الذي تم بناؤه وضبطه عام ١٩٦٩ ، تحت ضغط يبلغ ثلاثة ملايين فلت . ويُعتبر هذا الجهاز الأخير أكبر وأقدر جهاز قائم حتى اليوم . فمولدته وأنبوبه الإلكتروني موضوعان في حوضين يبلغ علوهما ٨ أمتار ، مليئين بغاز عازل مضغوط . أما عمود المِجهر البالغ علوه ٤ أمتار تقريباً ، فيزن ٢٢ طناً . أما العدسات المغنطيسية الجبارة ، اللازمة لتبشير حزمة الإلكترونات التي تخرقها بسرعة تقارب سرعة الصوت ، فهي هنا ست عدسات متراكبة .

إن هذا الجهاز الجديد ، يُمكن الباحثين من المضي قدماً في البحث عن تركيب

المادة الخفي ، سواء كانت هذه المادة جامدة أو حية ، ويُمكنهم هكذا من التعمق في دراسة العالم المتناهي الصغر . ولقد وُضعت في «تولوز» طريقة تسمح بمراقبة الأجسام الحية الصغرى ، وهو أمر كان مستحيلاً في ما سبق ، بسبب الفراغ المسيطر في داخل الجهاز ، والذي تنفجر معه الخلايا الحية . والواقع أن الخلايا تُوضع في غرفة صغيرة معزولة تتوفر فيها شروط الحياة العادية .

هذا ، وأُحيط المِجهران باحتياطات كبيرة ، لحماية العاملين فيهما من خطر الأشعة السينية الشديدة الإختراق ، والتي تظهر على مستويات مختلفة من مسار الإلكترونات .



فيروس الشلل المخيف .

- ١- الفيروسات : جراثيمٌ صغيرةٌ جداً لا تُرى بالمجاهر العادية .
- ٢- مُذهِل : عَجيب لدرجة أنه يُفقد الوعي .
- ٣- نظريّات : آراء لم تثبت صِحَّتُها .
- ٤- لوحة فوتوغرافيّة : لوحة صالحة للتصوير الشمسيّ .
- ٥- تبثّر الصورة : تركيزها ، ضبطها .
- ٦- مضى قُدُماً : تقدّم .
- ٧- احتياطات : إجراءات وقاية وحماية .

- ١- ما هي حدود التكبير في المجهر البصريّ ؟
- ٢- ما هي مجالات التكبير في المجهر الإلكترونيّ ؟
- ٣- كيف تُرى الكريّة الحمراء في المجهر الإلكترونيّ ؟
- ٤- ما هي نظريّة بروغلي في البصريّات ؟
- ٥- ماذا حلّ محلّ العدسات في المجهر الإلكترونيّ ؟
- ٦- بمَ اشتهرت مدينة تولوز ؟
- ٧- أذكر فوائد المجهر الإلكترونيّ .

ولادة حضارة

- ١ - من الحجر المقطوع إلى مكائن الصناعة ذات الذاكرة • السيطرة على النار • ولادة الكتابة
- ٢ - الزجاج مادة شفافة • الدولاب جهاز نقل • طائرة الورق • أكثر من لعبة بسيطة
- ٣ - آلات قياس الوقت • الورق • مطية الفكر • الطرق، سبل اتصال بين الشعوب
- ٤ - السيطرة على المعادن • المرأة : من دنيا التبرج إلى دنيا العلم • رهط ذاتيات التحرك
- ٥ - من النظارتين إلى المنظار إلى المقراب • السهم الناري يصبح آلة تحمينا من الأرض • الصابون والظفات اللينة

التقنية تقوم بأول تحدياتها الكبيرة

- ٦ - الطعنة المائية والطعنة الهوائية • البارود • الطباعة من عهد غوتنبرغ إلى ... غدر
- ٧ - الأسلحة النارية عدة لهلاك • البوصلة • طوق الكتفين • في طقم الفرس، خيل من المرفقين
- ٨ - "دولاب بسكال" • هذه الآلات الحاسبة الإلكترونية • من المطلة إلى الزجاجة • آلات إصدار الفراغ
- ٩ - التحرك على وسادة من هوار • الحجر في سيطرته على المناهي الصفرة • ميزان الضغط

من الحرف اليدوية إلى الصناعة

- ١٠ - الآلة البخارية • من المراكب البخارية الأولى إلى السفن الحديثة • من "السمفاة" إلى "الصاعقة"
- ١١ - المروحة وانطلاق المداخلة ... • من عربة "كونسيو" البخارية إلى سيارتنا • غاز الإضاءة ...
- ١٢ - الآلات الإلكترونية • ساري "فرنكلين" • من المنظار إلى الباليونات الفضائية
- ١٣ - تلفاز "شاي" • من النسخ البدائي إلى نول الحياكة • الدجاجة الأولى وذريتها
- ١٤ - بطارية "فولتا" • عيدات الثقاب • السكة الحديدية والقاطرة البخارية
- ١٥ - "لينيك" و "السينسكوب" • ألعاب المحفزات التي تعتمد بالليارات • التربينات في العمل
- ١٦ - التلفاز الكهربائي مخترع ريتام ... • آلة الحياطة • عربة التصوير تنفتح على كل شيء
- ١٧ - لوحة الألوان المركبة • المحرك المتغير يجهز ملايين السيارات • التبيخ المنذر

العالم يُبدل معالم وجهه

- ١٨ - الديناميت للسرّاء والضراء • حفرة آبار النفط • من الآلة الكاتبة إلى الطباعة الإلكترونية
- ١٩ - صناعة البزد • الدينامو مولد التيار والمحرك الكهربائي • من السيلولويد إلى اللدائن
- ٢٠ - البكردينامي يضع مكتبة في حقيبة • الكلام المنقول في سلك • التزام والقاطرة الكهربائية
- ٢١ - سلسلة البزد • أديسن والمصباح الكهربائي • من الفونوغراف الهادي إلى الإلكترونيات
- ٢٢ - مجرة الهواء وأجهزة المطاط • عصر المدير في البناء • انبوب أشعة إكس يقهر الكثافة
- ٢٣ - من الفلمسكوب إلى السينماسكوب • تسجيل الأصوات والصور • وطواط يخفق بالأمال الرصبة
- ٢٤ - محرك ديزل مخترع من قدامه • الاتصالات البعيدة الذي تنقل على موجات الأثير • الباليونوغراف
- ٢٥ - زجاج لايجرح • آلات توليد الفواصف • الصور السحرية على الشاشة الصغيرة

من الذرة إلى الفضاء

- ٢٦ - كاشفات الجزيئات الدقيقة • المرفعة الذرية • الحجر الإلكتروني عين قاهرة على روية الغيوب
- ٢٧ - الرادار الساحر • من الأبنيق القديم إلى أبراج مصافي النفط العالية • المفاعل النووي
- ٢٨ - الترنزستور والترنستورات • الأجهزة الفضائية • الأفران التي تنهض في طاقة الشمس

أرسى القرن الثامن عشر علم الكهرباء ، وأطلق أول السفن البخارية ،
والمناطيد والقواصات الأولى . وشاهد القرن التاسع عشر الثورة الصناعية
بفضل البخار والكهرباء والآلة ، فيما تكاثرت الاختراعات من كل نوع :
من القاطرة والسكة الحديدية ، ومن التلفاز إلى التصوير
الشمسي ، ومن الدراجة إلى التربية ...

تأليف : ف. صوت
رسوم : ب. يروبيست
ترجمة واعداد : سهيل سمّاحة